

El viaducto sobre el Río Nalón, un puente mixto de carretera con un vano principal de 110 m de luz

Viaduct over Nalón River, a composite steel-concrete road bridge with a 110-m span

Francisco Millanes Mato⁽¹⁾, Miguel Ortega Cornejo⁽²⁾ y Javier Pascual Santos⁽³⁾

Recibido | Received: 04-12-2008
Aceptado | Accepted: 30-04-2009

Resumen

El viaducto sobre el río Nalón en las obras de duplicación de calzada de la carretera AS-17 entre Avilés-Puerto de Tarna, en el tramo Riaño-Sama, Asturias, proyectado por IDEAM es un ejemplo del desarrollo de la tecnología de las soluciones bijácena con doble acción mixta, en la alternativa de “cajón estricto”, en un puente con un vano central mixto de 110 m de luz y vanos laterales de hormigón pretensado de 27,5 m.

La descompensación del vano central frente a los laterales obliga a plantear apoyos invertidos en estribos, que reaccionen contra el tiro ascendente.

Se describe así mismo el proceso constructivo seguido para ejecutar el viaducto, y diferentes detalles como los marcos de rigidización transversales en H y los detalles de anclaje de las unidades de pretensado en la zona metálica.

Palabras clave: puente de carretera, doble acción mixta, bijnaca-cajón estricto, distorsión, marcos en H, apoyos inversos.

Abstract

The bridge over the Nalón River formed part of the works to separate the carriageway on road AS-17 between Avilés and Puerto de Tarna, in the Riaño-Sama section of the road, in Asturias, has been designed by IDEAM and it is an example of the development of the double composite twin girder technology, in the typology of “strict-box” girder, with a bridge with a 110-m central span and lateral concrete prestressed spans.

The imbalance of the central span length against the lateral spans obliged the use of inverted supports at the abutments, which worked under compression.

The article contains a description of the various stages of the construction of the viaduct, and different details as the transversal H-shape frames, and the anchorages of the prestressed tendons in the twin steel beams.

Keywords: road bridge, double composite action, twin girder-“strickbox”, distortion, H-shape frames, inverted supports.

* An extensive English language summary of the present article is provided on page 86 of this issue both for the convenience of non-Spanish-speaking readers and inclusion in databases.

(1) Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Madrid, España). IDEAM S.A. (Madrid, España).

(2) Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Universidad Europea de Madrid. Escuela Superior Politécnica (Madrid, España). IDEAM S.A. (Madrid, España).

(3) Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Madrid, España).

Persona de contacto / Corresponding author: miguel.ortega@ideam.es

1. DESCRIPCIÓN DEL VIADUCTO SOBRE EL RÍO NALÓN

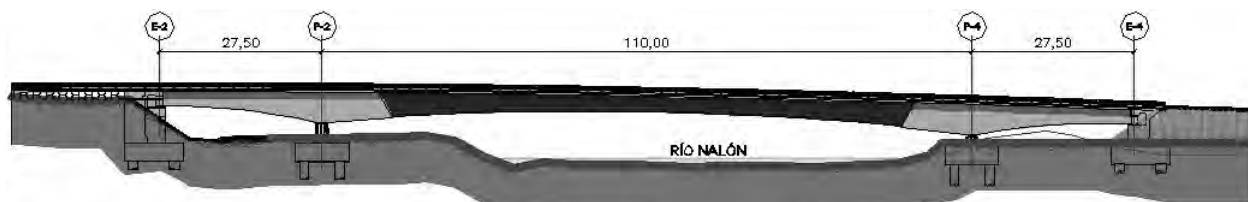
El viaducto sobre el río Nalón proyectado por IDEAM para la UTE Riaño-Sama, formada por FCC Construcción S.A. y Alvargonzález Contratas S.A., supone un paso más allá en el desarrollo de la tipología de “cajón estricto”, con un vano central de 110 m de luz. El viaducto se localiza en las obras de duplicación de calzada de la carretera AS-17 entre Avilés-Puerto de Tarna, en el tramo Riaño-Sama, junto a los pueblos de La Felguera y Langreo, en Asturias.

Se trata de dos puentes paralelos, uno para cada una de las calzadas, decalados 7 m por el cruce oblicuo del río Nalón bajo el vano central. La oblicuidad del río con el eje del trazado, unos 45°, así como la anchura del cauce, obligaron a una luz central de 110 m para poder salvar el río sin colocar ninguna pila intermedia. Los vanos de compensación laterales son simétricos con una luz de

27,5 m. En las figuras 1a y 1b se puede apreciar el alzado de uno de los viaductos, y en la figura 2 se muestra la planta de los dos puentes.

Cada calzada de 11,50 m de ancho se compone de una barrera de 0,50 m, un arcén exterior de 2,50 m, dos carriles de 3,50 m, un arcén interior de 1,00 m y una barrera de 0,5 m. Los ejes de cada estructura se separan 12,50 m, dejando una separación interior entre calzadas de 2,00 m (Fig. 3).

Al tratarse de una estructura con la rasante muy baja, con los vanos laterales en zonas de desmontes sobre el terreno natural, se hizo necesario buscar una solución estructural que minimizase los cantos del tablero. Se planteó así una solución de canto variable, con los vanos laterales más un tramo del vano central mediante una sección clásica en cajón de hormigón pretensado, y el resto del vano central mediante una sección mixta en “cajón estricto”.



ALZADO DE ESTRUCTURA AGUAS ABAJO (CALZADA DERECHA)



Figurass 1a y 1b. Alzado del Viaducto sobre el Río Nalón.

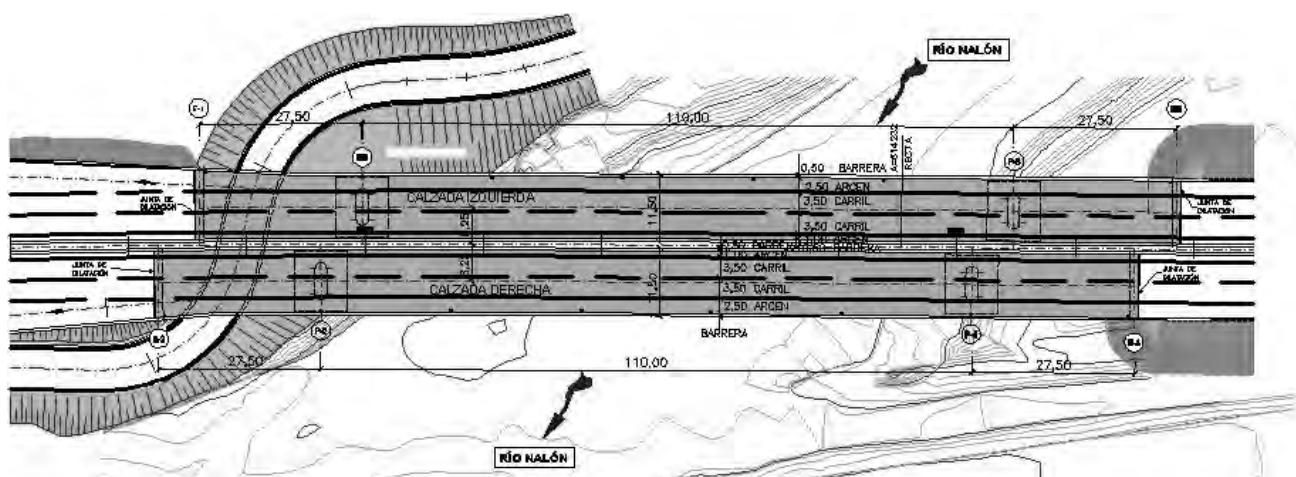


Figura 2. Planta de las dos estructuras.

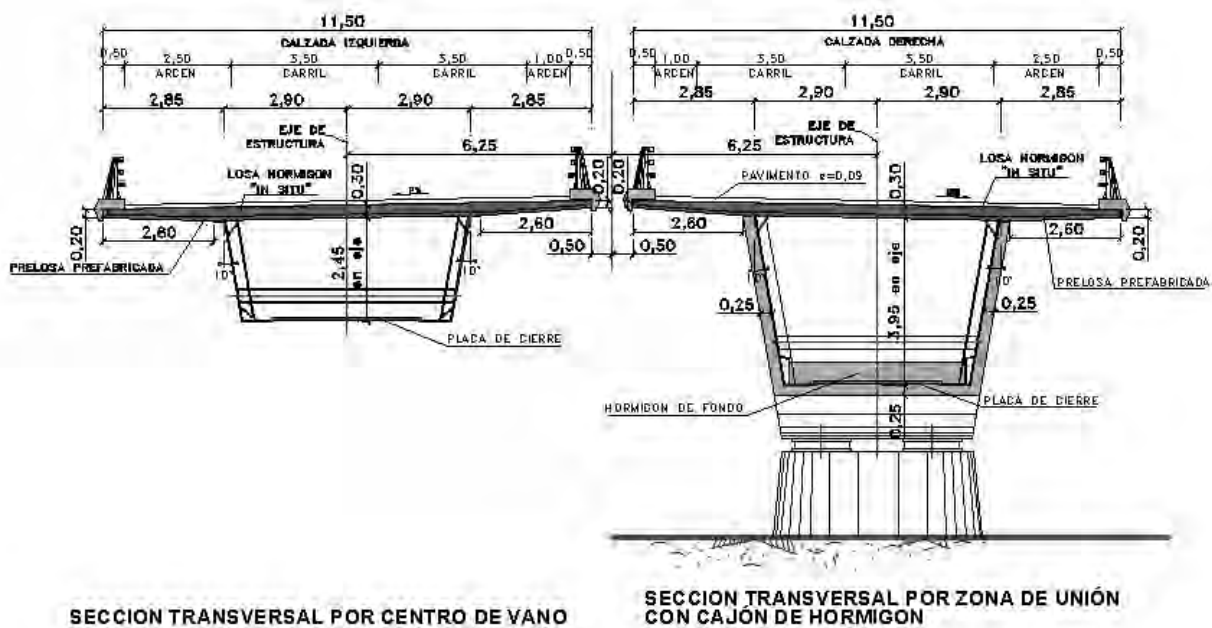


Figura 3. Secciones tipo por zona mixta.

La alternativa de “cajón estricto”, planteada por primera vez por Julio Martínez Calzón en los pasos superiores de Vilobí D’Onyar (luz principal 29 m) y la Roca (luz principal 19 m) sobre la A-7 1994-1995 [1], ha sido desarrollada por IDEAM con diversas variantes en recientes proyectos, pudiendo constatarse las ventajas derivadas de su sencillez constructiva y respuesta estructural, con la consiguiente reducción de cuantías y costes unitarios respecto a otras alternativas en puentes de carretera (referencias [2] a [5]).

Recientemente IDEAM ha proyectado el Viaducto “Arroyo Las Piedras” [6], primer viaducto mixto de las Líneas de Alta Velocidad españolas en la Línea de Alta Velocidad Córdoba-Málaga, concluido a inicios de 2006, desarrollando la tipología de “cajón estricto”, materializando el cierre del circuito de torsión en las zonas de centro de vano mediante el empleo de prelasas discontinuas.

1.1. Descripción del tramo central mixto

El vano central de 110 m de luz lo conforma en su tramo central, de 91,20 m, una sección mixta bijácena, en la tipología de “cajón estricto”. Desde el empotramiento de las vigas mixtas en el cajón de hormigón hay 18 m de zona con doble acción mixta, con hormigón de fondo con espesor variable entre 0,50 y 0,25 m. Los 50 m centrales del puente son dos vigas mixtas conectadas a la losa superior, trabajando de forma independiente creando un cajón abierto distorsionable. El cierre inferior se materializa mediante unas prelasas prefabricadas estrictas, dispuestas sin conexión, para permitir simplemente que la sección sea interiormente visitable e inspeccionable.

El canto en el centro del vano central es de 2,45 m para las vigas metálicas, más la losa superior de 0,30 m, lo

que supone una relación canto de metal/luz de $1/44,9$ y una relación canto total/luz de $1/40$. En la zona del empotramiento de la sección metálica con el cajón de hormigón el canto de metal es de 3,95 m, más la losa superior de 0,30 m (Fig. 3). El canto de la sección de hormigón en pila es de 5,50 m, lo que supone una relación canto/luz en apoyos de $1/20$. (Fig. 6)

En la figura 3 se pueden apreciar las secciones transversales tipo del tramo central mixto. Las vigas metálicas que componen la sección transversal del “cajón estricto”, tienen las almas inclinadas 10° respecto de la vertical, y presentan una separación superior constante de 5,8 m, variando la anchura inferior del cajón debido a la inclinación de las almas, al canto variable y al peralte ligeramente variable del puente.

Las platabandas superiores las componen desde el centro del vano hacia los arranques, chapas de 20 a 35 mm de espesor. Los espesores de las almas varían entre 15 mm y 20 mm, y las platabandas inferiores se proyectan con chapas de 25 a 40 mm.

En las zonas de centro del vano la célula inferior es triangular, mientras que en las zonas con esfuerzos de flexión negativa, donde hay doble acción mixta, la célula inferior se compone de dos chapas, una vertical y otra superior inclinada. La conexión del hormigón de fondo se materializa mediante pernos conectadores en la platabanda inferior y en la chapa vertical de la célula inferior.

La célula superior no es continua y se dispone en la zona central de flexión positiva y en la zona de máxima flexión negativa, próxima al empotramiento con el dintel de hormigón.

La rigidización de la sección transversal la componen los marcos transversales en H dispuestos cada 5,375 m,

y los rigidizadores verticales de alma cada 1,79 m. Como puede apreciarse en la figura 4 la estructura metálica queda reducida a su mínima expresión, con dos vigas rigidizadas, unos perfiles transversales en los marcos en H y una sencilla celosía superior para resistir las acciones del viento durante el montaje.



Figura 4. Vista interior de la sección metálica en taller.



Figura 5. Vista de uno de los vanos laterales de hormigón con 27,5 m de luz.

1.2. Descripción de los vanos laterales de hormigón.

Los vanos laterales de 27,5 m son de hormigón (Fig. 5) resueltos mediante una sección cajón pretensada. El canto en el arranque en estribos es de 2,75 m y el canto en la pila de 5,50 m. La sección transversal presenta almas de 0,40 m de espesor, una losa superior de 0,42 m en la zona entre almas, con voladizos de espesor variable entre 0,30 y 0,20 m, y una tabla inferior de espesor variable entre 0,35 m en estribos y 0,90 m sobre pila. La sección interior del cajón se acartela en los 0,75 m próximos a las almas, aumentando el espesor de las tablas en 0,25 m. (Fig. 6)

Tal y como ya se ha descrito, la sección cajón de hormigón vuela, desde el eje de la pila hacia el centro del vano central 9,40 m en su parte superior y 12 m en la inferior, dibujando así un plano inclinado en la intersección con la zona metálica (Figs. 1a, 1b y 5).

El cajón de hormigón se pretensa mediante 18 unidades de pretensado de 24 torones de ϕ 0,6", 9 unidades por lado. El trazado del pretensado en el cajón de hormigón discurre siempre por la losa superior, y se materializan una serie de anclajes en cuñas intermedias (Fig. 7) para ajustar el número de tendones en cada sección, en función de los esfuerzos de flexión negativa del vano lateral. De las 18 unidades de pretensado, 8 se anclan en una cuña en el extremo del cajón de hormigón, y las 10 restantes se anclan en tres secciones diferentes con 2+2, 2+2, y 1+1 unidades, respectivamente, en el tramo metálico, pretensando el metal contra el cajón de hormigón y cosiendo la junta, como se detallará más adelante.

La ejecución de los encofrados interiores y exteriores del cajón de hormigón ha necesitado el diseño de una cimbra y encofrado específicos para cada vano, ya que casi todo es variable. El trazado en planta no es exactamente una recta, hay parte en clotoide, el peralte trans-

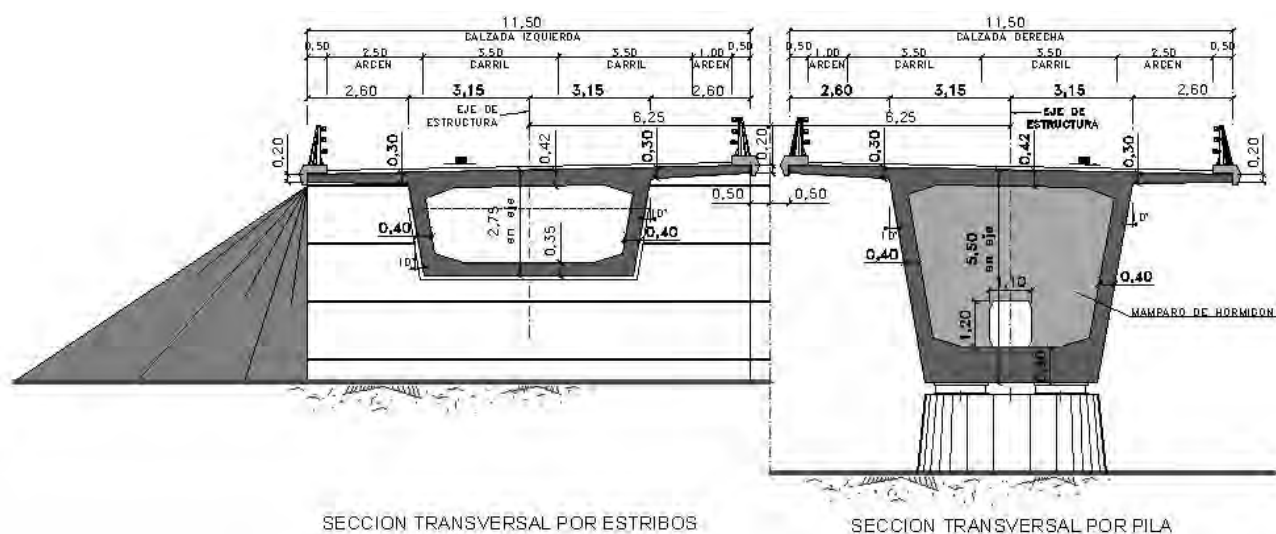


Figura 6. Secciones tipo por zona de hormigón.

versal es variable en todo el viaducto, el trazado en alzado está en un acuerdo vertical, con cambio de pendiente longitudinal, y los voladizos exteriores de los cajones en las zonas de los estribos 1 y 2 son variables al aparecer unos ramales de incorporación. A ello se suma que el propio cajón tiene canto variable y que las almas son inclinadas.

Sobre pilas se ejecutan mamparos macizos de hormigón con un paso de hombre (Fig. 8) para hacer completamente visitable el tablero por el interior, y en la zona del extremo del hormigón, en contacto con la zona metálica, se materializa otro mamparo macizo inclinado de hormigón con paso de hombre con idéntica función.

Al tratarse de una estructura con vanos muy descompensados, obligado por el trazado de la carretera y el cauce del río Nalón, con un vano central de 110 m y vanos laterales de 27,5 m (25% de la luz del central), el apoyo del puente en estribos produce levantamientos incluso bajo las acciones del peso propio. Para resolver esta cuestión se ha diseñado un cajado en estribos para permitir que parte del cajón se introduzca en ellos, a modo de apoyo a media madera invertido, con la disposición de unos apoyos inversos (apoyos superiores definitivos) que trabajen siempre a compresión. Los apoyos inferiores trabajan solamente a compresión de forma temporal hasta que se cierra el vano central y se colocan las prelasas superiores; una vez esto ocurre no trabajan más y pueden retirarse. (Fig. 9 y 10)

Bajo la acción del peso propio completo del tablero la reacción de levantamiento entre los dos apoyos de un estribo es de -3256 kN, mientras que con cargas permanentes es de -4953 kN.

Tras los apoyos de estribos se ha diseñado una galería dentro del cuerpo del espaldón del estribo (Figs. 9 y 10 b),



Figura 7. Vista de anclajes de pretensado en cuñas



Figura 8. Vista interior del mamparo de pila con paso de hombre.

con acceso superior desde la acera exterior, para así poder revisar y sustituir los apoyos desde su interior. Los apoyos son así mismo inspeccionables desde den-

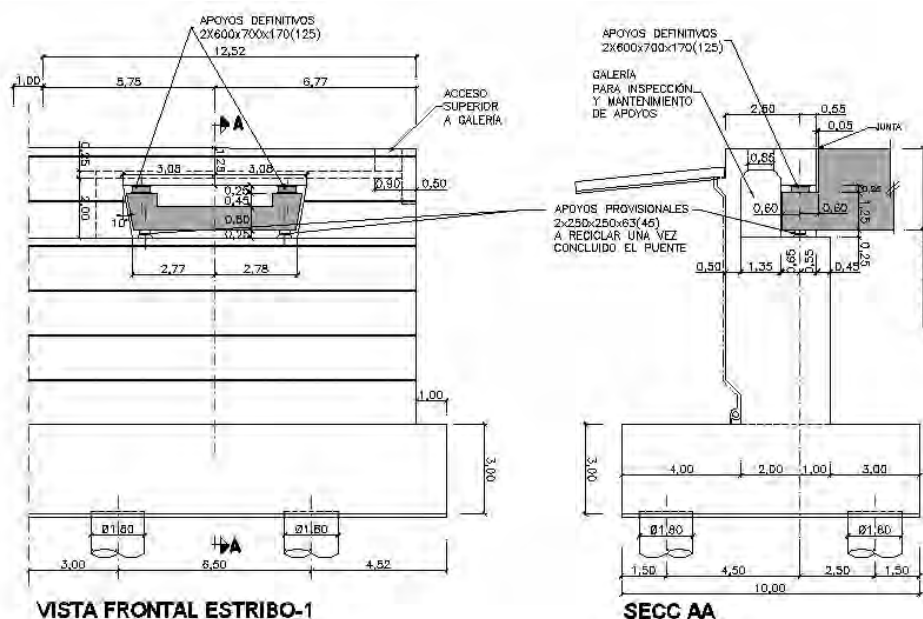


Figura 9. Vista del alzado y sección de los estribos con los detalles de los apoyos inversos.



Figura 10 a. Vista de uno de los apoyos inversos desde el interior del cajón de hormigón.



Figura 10 b. Ejecución de estribo, con galería para inspección de apoyos inversos.

tro del cajón de hormigón (Figs. 10 a y 10 b), ya que se ha previsto una trampilla de acceso en el fondo del cajón en una de las márgenes junto al estribo.

Los aparatos de apoyo de los estribos y pilas son neoprenos zunchados convencionales, de 600x700x170 (125) mm en estribos y de $\varnothing$ 1300x171 (131) mm en las pilas.



Figura 11. Vista de las pilas y la primera fase de estribos ejecutada e inicios de colocación de la cimbra del cajón de hormigón.

2. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL VIADUCTO

En primer lugar se realizan las excavaciones para poder ejecutar las cimentaciones pilotadas de pilas y estribos. Se han empleado 4 pilotes de 1,80 m de diámetro en cada una de las pilas y otros 4 pilotes del mismo diámetro en cada uno de los estribos.

Concluidos los pilotes se ejecutan los encepados y los alzados de pilas y estribos. Al estar la rasante muy baja, las pilas se convierten en unos plintos de altura reducida, con 3,3 m en una margen y apenas 1,7 m en la otra.

Los estribos se ejecutan en dos fases. En la primera fase se ejecuta el cuerpo del estribo y los alzados de los muros laterales hasta la cota del apoyo inferior del cajón de hormigón, y una vez que se ha cimbrado, ferrallado y hormigonado el cajón de hormigón, se ejecuta la parte superior del estribo que hace de tope para resistir el tiro ascendente de los apoyos inversos. (Figs. 9, 10a y 10b)

En la figura 11 se aprecian las pilas de un lado del río ya ejecutadas, junto con la primera fase de los estribos correspondientes.

Una vez concluida la subestructura, se procede a ejecutar *in situ* el vano lateral de 27,5 m de luz más el voladizo (de 9,4 m en la parte superior y de 12,0 m en la inferior) del cajón de hormigón de canto variable. (Fig. 5 y 12)

Con el vano lateral de hormigón ferrallado, se procede a colocar el primer tramo metálico de 20,90 m de longitud, apeado en el extremo de la cimbra del cajón de hormigón y en unos puntales provisionales dispuestos a 22,75 m del eje de las pilas.

Para la colocación de estos apeos temporales se realizan unos recrecidos laterales de las márgenes del río a modo de penínsulas temporales, que se retiran una vez desaparecida la estructura metálica, restituyendo el cauce natural del río Nalón, protegiendo las márgenes cercanas a las pilas mediante escollera.

El tramo lateral metálico de 20,90 m de longitud se transporta completamente montado, con las dos vigas metálicas y la rigidización interior.



Figura 12. Ejecución de vanos laterales en hormigón y colocación del primer tramo metálico apeado.

Las grandes dimensiones de la pieza lateral, con un canto máximo de 3,95 m y un ancho total en cabeza de 5,80 m más los vuelos a cada lado de las platabandas superiores de 0,25 m, podrían obligar a transportar



Figura 13. Transporte del primer tramo metálico.

cada viga tumbada de forma independiente y materializar la unión mediante los marcos transversales en H en obra. Sin embargo gracias a que se trata de un cajón abierto inferiormente, el taller metálico planteó un transporte especial haciendo que los apoyos de las góndolas quedasen en un nivel intermedio, ajustando al máximo la altura del transporte, para así evitar problemas de gálibos verticales (Fig. 13). De esta manera se transporta el tramo de 20,90 m de longitud completo a obra.

En la figura 13 se aprecian también las basas rigidizadas en el extremo de las platabandas inferiores para transmitir las compresiones al cajón de hormigón, las basas con los pernos en las almas, para transmitir los esfuerzos cortantes del alma metálica al cajón de hormigón, y las platabandas superiores que se prolongan con los pernos conectadores para transmitir las tracciones al cajón de hormigón.

La operación de colocación del tramo lateral se realiza en un único movimiento mediante el empleo de grúas, dejando la estructura metálica apeada en el extremo de la cimbra de la zona del cajón de hormigón, y en el puntal provisional. (Figs. 14a, 14b y 15). El peso de cada uno de estos tramos laterales es de unas 43 t.

La colocación de los tramos laterales se hace de forma simultánea al ferrallado del cajón (Fig. 14b), pero previamente al ferrallado de la zona extrema del mamparo de hormigón, ya que las armaduras de la zona de la conexión interferirían a la hora del posicionamiento del cajón metálico en su ubicación definitiva.

Con los tramos laterales colocados en su posición definitiva (Fig. 15) se procede a concluir totalmente el ferra-



Figuras 14a y 14b. Izado y colocación del primer tramo metálico.



Figura 15. Vista de los 2 tramos laterales metálicos apeados.

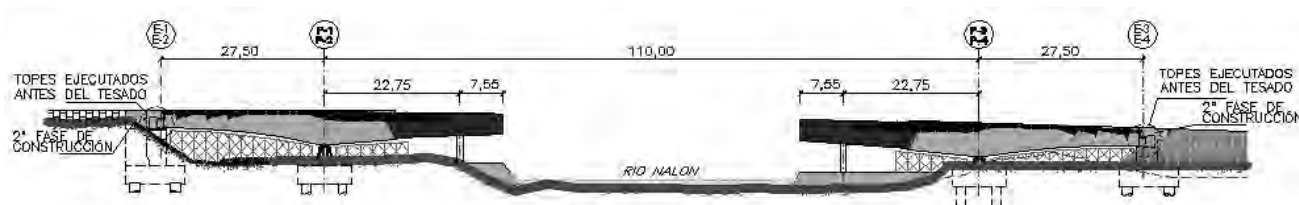


Figura 16. Ejecución de segunda fase de estribos con apoyos inversos, y pretensado del vano lateral cosiendo la junta con la estructura metálica.

llado de los cajones de hormigón, y a la colocación de las vainas y anclajes del pretensado.

Finalizado el ferrallado se hormigona el cajón de los vanos laterales, y se ferralla y hormigona la zona de hormigón de fondo de los tramos metálicos laterales apeados. (Fig. 12)



Figura 17. Vista del voladizo pretensado y desapeado.



Figura 18. Vista del tramo metálico central de 50 m preparado para su colocación.



Figura 19. Izado del tramo central metálico.

Con los vanos laterales todavía cimbrados, se procede a realizar el recrecido de la segunda fase de estribos, para materializar el apoyo invertido que evite el levantamiento del vano lateral debido a la descompensación de luces con el vano central, como ya se ha descrito.

Una vez que los estribos están concluidos, con los apoyos inversos colocados, se procede a realizar el tesado del cajón de hormigón (Fig. 16). Como ya se ha descrito, de las 18 unidades de pretensado de 24 torones de $\varnothing 0.6''$, 8 se anclan en una cuña en el extremo del cajón de hormigón, y las 10 restantes se anclan en tres secciones diferentes en el tramo metálico, pretensando el metal contra el cajón de hormigón, cosiendo la junta.

En primer lugar se tesan dos unidades del cajón de hormigón y se procede a aflojar los husillos de la cimbra del vano lateral, para concluir posteriormente con el tesado completo de la estructura. En ese instante el pretensado produce el desapeo de la estructura metálica, al levantarse unos 70 mm sobre el puntal extremo, dejando un voladizo libre de 30 m desde la pila hacia el centro del puente.

En la figura 17 se puede apreciar una de las dos márgenes, con el tramo lateral ya tesado, y la estructura metálica ya desapeada trabajando en voladizo. En el extremo de la sección transversal se aprecia el final del hormigón de fondo.

El empleo de pretensado en la zona extrema del metal, zona con esfuerzos de flexión negativa mayores, reduce las dimensiones de la platabanda superior con el consecuente ahorro de acero estructural.

El empleo del pretensado, precomprimiendo la sección parcial metálica en las zonas de negativos sobre pilas, ha obligado a diseñar unas zonas especiales en los anclajes, como se describe más adelante.

El tramo metálico que falta por colocar en el centro del vano tiene una longitud total de 50 m, y se transporta a obra en dos tramos de 25 m, totalmente concluidos cada uno de ellos, como sucedía con los tramos laterales previos. En obra se hace la unión central dejando una pieza de 50 m (Fig. 18) y unas 95 t de peso dispuesta para ser colocada mediante grúas.

La operación de izado y colocación del tramo metálico central de 50 m del primer viaducto, se realiza mediante el empleo de dos grúas, una en cada margen del cauce del río Nalón. Para reducir el brazo de enganche

de la grúa dispuesta en la margen contraria al tramo metálico, se hizo necesario aproximar el extremo del tramo a la otra orilla introduciéndolo en el cauce del río, aprovechando una época de caudal regulado aguas arriba, mediante el empleo de la cabeza de un dolly en cada extremo. (Fig. 19)

La operación de colocación del tramo central requirió prever unas demasías en las almas y platabandas para que, una vez se ajustó mediante topografía la longitud exacta del espacio libre entre los dos tramos laterales, se procediera a recortar y preparar los bordes a medida para que encajaran y se pudieran soldar a tope almas y platabandas. En la figura 20 se puede apreciar la operación de corte de demasías en uno de los dos lados, previamente al izado de la pieza central.

El apoyo del tramo central sobre los laterales se hace, como es habitual, dejando las platabandas inferiores más largas y las platabandas superiores más cortas en los tramos laterales, y a la inversa en el tramo central con las platabandas inferiores más cortas y las platabandas superiores más largas, para así ayudar a la hora del ajuste vertical del tramo central sobre los laterales. En la figura 21 se puede apreciar la fase de colocación del tramo central (pieza de la izquierda), ajustándose al lateral (pieza derecha).

Con esta tipología y el proceso constructivo planteado, las uniones soldadas en obra se reducen a realizar en el suelo sobre una bancada la unión entre los dos elementos del tramo central, de 25 m cada uno, más las dos uniones entre el tramo central y los laterales, minimizando así las soldaduras en obra, más complicadas de ejecutar y controlar que en taller.

En el caso de que se hubiese optado por un cajón cerrado con una chapa de fondo metálica completa, el transporte de los tramos laterales hubiera requerido partir el cajón en dos para evitar problemas de gálibos verticales durante el transporte, lo que hubiera obligado a realizar en obra la soldadura longitudinal de la chapa de fondo en toda la longitud del cajón, más los empalmes y uniones de los rigidizadores transversales de la chapa de fondo, necesarios en ese caso, así como las uniones de las celosías.

En la figura 22 se puede ver la vista interior del “cajón estricto” en la zona del centro del vano. La sencillez de los arriostramientos en los marcos transversales en H deja una sección transversal interior muy limpia y sencilla de inspeccionar y revisar.

Durante la fase de ejecución de las obras el Contratista decidió cambiar, por razones constructivas, el cierre inferior del “cajón estricto”, que en proyecto se materializaba mediante la disposición de prelasas de hormigón discontinuas sin ningún tipo de conexión con la estructura metálica, por unas chapas de acero rigidizadas (Fig. 22). El cierre inferior sigue siendo un mero cierre formal para permitir que el puente sea interiormente visitable para realizar labores de inspección y mantenimiento.



Figura 20. Corte de demasías en el tramo central.



Figura 21. Detalle del momento de colocación del tramo central



Figura 22. Vista interior del centro de vano.

Con la estructura metálica concluida se procede a colocar mediante grúas las prelasas prefabricadas (Fig. 23), con el ancho completo de la losa superior, apoyadas en unas bandas de neopreno dispuestas sobre los extremos de las platabandas superiores de las vigas metálicas. Hasta ese momento los apoyos inversos de los estribos todavía no trabajaban y, es entonces, con la colocación de prelasas, cuando entran en carga, invirtiendo el signo de la reacción en el estribo que hasta ese momento era de compresión, produciendo el tiro ascendente por la descompensación de luces entre el vano central y los laterales. En la figura 24 se aprecia el primer viaducto con todas las prelasas ya colocadas.

Concluida la colocación de prelasas, se ferralla la losa superior en el tramo sobre las dos vigas metálicas y se



Figura 23. Colocación de prelasas prefabricadas.



Figura 24. Vista aérea del primer viaducto con todas las prelasas ya colocadas.

hormigonan los 86 m centrales restantes, conectando la losa a las vigas metálicas, materializando la sección mixta y dejando la estructura del viaducto concluida (Fig. 25), para finalizar con las operaciones de acabados: colocación de barreras, impostas y pavimento.

De forma simultánea a la ejecución del primer viaducto se va ejecutando el segundo puente paralelo, de manera decalada en el tiempo, para así poder reutilizar los medios auxiliares empleados en el primero.

En el segundo viaducto se repiten todas las fases del proceso constructivo descritas para el primero, salvo la fase de colocación del tramo central metálico de 50 m y 95 t de peso.



Figura 25. Vista del primer viaducto concluido, y del segundo en fase de ejecución.

Con el primer viaducto concluido, la fase de aproximación del tramo central metálico del segundo puente se realizó directamente sobre el tablero finalizado, mediante el empleo de un dolly, y una cabeza tractora, acercando la pieza hasta una ubicación paralela a su posición final. (Fig. 26)

Una vez posicionado el tramo central lo más cerca de su ubicación final (Fig. 26) se enganchó desde las dos márgenes del río mediante dos grúas, una de 300 t y otra de 400 t, y se procedió a realizar la operación de izado y colocación en su posición definitiva siguiendo el mismo proceso que con el primer viaducto. (Figs. 27a y 27b)

Con el tramo central ya soldado se concluye el segundo viaducto con la colocación de las prelasas prefabricadas



Figuras 27a y 27b. Izado y colocación del tramo central del segundo viaducto.



Figura 26. Transporte del tramo central del segundo viaducto sobre el primer puente ya concluido.

superiores, la ferralla y el hormigonado de la losa superior en el tramo central, siguiendo el mismo proceso que el empleado en el primer viaducto. En las figuras 28, y 29 se pueden apreciar dos vistas de los viaductos acabados.

En el apartado siguiente se describen brevemente las particularidades en el diseño y concepción de los sistemas de anclaje del pretensado en las secciones metálicas, así como de los marcos de arriostramiento en H, que sustituyen a las clásicas celosías verticales mediante perfiles triangulados.

En este artículo no se va a entrar en la descripción general del proceso de cálculo del tablero, ya que la problemática de las redistribuciones de esfuerzos en tableros de hormigón pretensados y mixtos es común a otros puentes proyectados por los autores, y se ha publicado con detalle en los artículos de las referencias [7] a [9].

3. MARCOS TRANSVERSALES Y DETALLES DE ANCLAJES DE PRETENSADO

3.1. Marcos Transversales

El tramo mixto del viaducto se ha concebido considerando que las dos vigas mixtas trabajan separadas con un comportamiento como sección bijácena abierta, muy favorable para estructuras mixtas de este tipo desde el punto de vista constructivo, hasta la zona de unión con el cajón de hormigón.

Para mejorar el comportamiento de la zona mixta con esfuerzos negativos se ha materializado una doble acción mixta, pero manteniendo el concepto de sección bijácena. Esto es, aunque tengamos doble acción mixta en una cierta zona con continuidad del hormigón de fondo, ésta se ha considerado exclusivamente a efectos de la mejora que supone en la seguridad y respuesta última y en servicio de los elementos mixtos sometidos a flexión, pero no se ha considerado la rigidez a torsión del cajón mixto cerrado en la respuesta a cargas excéntricas.

Las dos vigas se arriostran entre sí mediante los marcos de arriostramiento en H, dispuestos cada 5,375 m (Fig. 30), incluso en las zonas de negativos donde se cierra el ala inferior con la doble acción mixta.



Figura 28. Vista inferior de los dos viaductos concluidos.



Figura 29. Vista lateral de los dos viaductos concluidos.

Por estos motivos, no se consideró necesario disponer un mamparo de rigidez importante en el extremo donde se produce el inicio del hormigón de fondo para transferir el trabajo de doble viga al de un cajón cerrado. El cálculo de cada una de las vigas se ha realizado considerando el trabajo bijácena hasta llegar a la zona del cajón de hormigón, donde se dispone un mamparo rígido de hormigón que transfiere el trabajo de doble viga de la zona mixta al flujo torsor de sección cerrada en el cajón de hormigón. Este análisis es conservador en lo que respecta a la respuesta global, ya que incluso sin diafragma rígido en la zona del inicio del hormigón de fondo, la compatibilidad de deformaciones entre las losas superior e inferior y las almas flectando en su plano mejoran la respuesta resistente real frente al sistema bijácena puro considerado en el análisis.

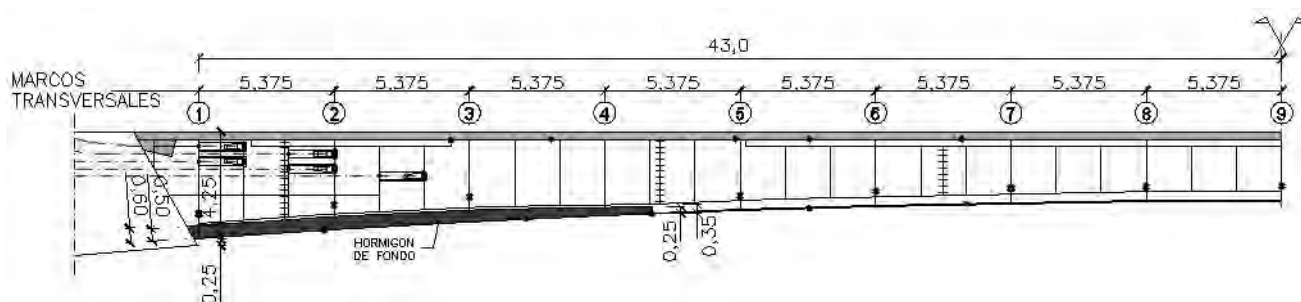


Figura 30. Semi-alzado de la estructura metálica del vano central.

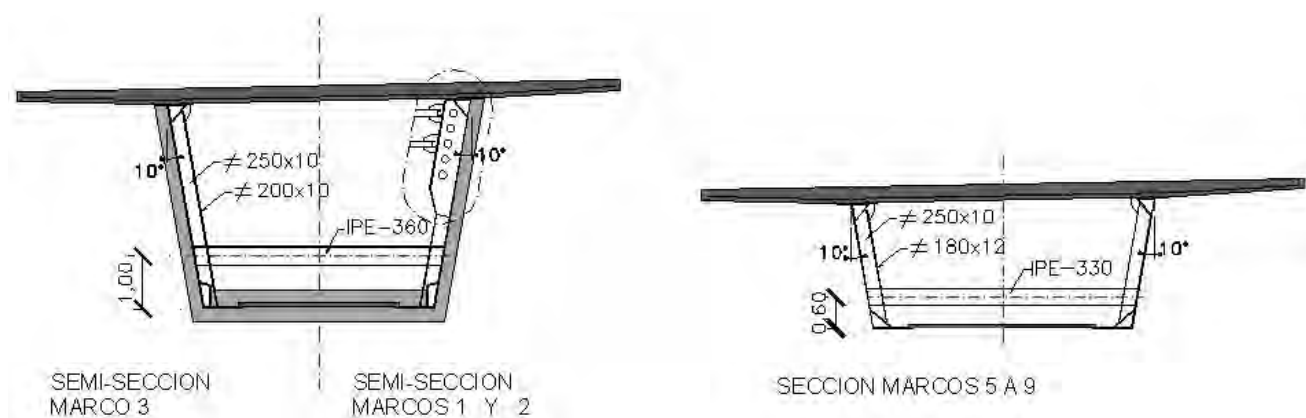


Figura 31. Detalle de marcos transversales en H.

En los marcos en H tipo 1 al tipo 3 (Fig. 30), el perfil transversal es un IPE 360 y se dispone a 1,00 m del ala inferior, mientras que en los marcos tipo 5 al tipo 9, el perfil transversal es un IPE 330 y se dispone a 0,60 m del ala inferior.(Fig. 31)

3.2. Detalles de anclajes de pretensado

Como ya se ha descrito, 10 de las 18 unidades de pretensado del cajón de hormigón pasan al tramo central mixto, y se anclan 2 en cada alma en la primera sección de anclaje, 2 en cada alma en la segunda y una en cada alma en la tercera. (Fig. 30)

Cada unidad de pretensado consta de 24 torones de ϕ 0,6", y se tesa a casi $P=4800$ kN. La carga localizada del anclaje se transmite al alma mediante dos rigidiza-

dores longitudinales en una longitud de 1,791 m, igual a la separación entre rigidizadores verticales (Figs. 32, 33 y 34). La excentricidad de 0,28 m del anclaje respecto del alma, por las dimensiones de las placas de anclaje, introduce un par, $M(kN\cdot m)=P(kN)\cdot 0,28$ m, que es necesario recoger mediante dos fuerzas perpendiculares a los rigidizadores verticales, separados 1,791 m, de valor $F(kN)=M(kN\cdot m)/1.791m = 750$ kN por cada unidad de pretensado en E.L.S.

Dada la magnitud de las fuerzas transversales, se disponen dos tubos uniendo los dos rigidizadores verticales, en la posición de las fuerzas que equilibran el par. Así el tubo dispuesto en el eje de la placa de anclaje reacciona a esa excentricidad comprimiéndose con la fuerza F , y el del extremo opuesto se tracciona con la misma fuerza. (Figs. 32, 33 y 34)

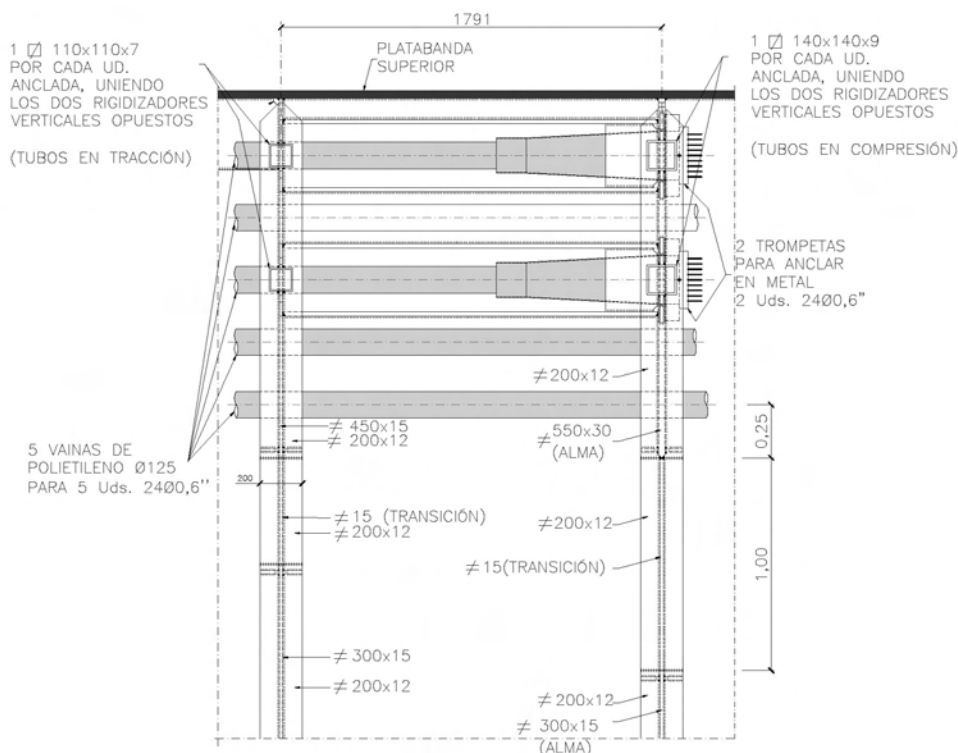


Figura 32. Detalle de anclajes de pretensado en el tramo mixto.

El tubo comprimido mayor que el traccionado por razones de pandeo, es un cuadrado de 140 mm de lado y 9 mm de espesor, y el traccionado de 110 mm de lado y 7 mm de espesor.

Este mecanismo funciona con las unidades de ambos lados tesadas en posición definitiva, ya que las fuerzas transmitidas a los tubos en cada extremo se compensan; pero si se tesa la unidad de un alma sin tesar la simétrica, la excentricidad de la carga introduce una fuerza en los tubos que no se equilibra con la opuesta y sería necesario un trabajo fundamentalmente de flexión de los dos rigidizadores, entre platabandas superior e inferior, para resistir esa excentricidad.

Para evitar esta situación, y no penalizar los rigidizadores verticales durante la fase de tesado, en el proyecto se planteó un tesado simultáneo de las unidades de pretensado simétricas del viaducto, mediante el empleo de dos gatos de tesado sincronizados conectados a una central, previa consulta al contratista y a los especialistas de BBR, realizándose así el tesado del viaducto sin incidencia alguna.

Aunque el mecanismo principal de resistencia de la excentricidad introducida por las unidades de pretensado, es el par de reacciones que resisten los tubos transversales, se verificó durante la fase de proyecto que los rigidizadores verticales eran capaces de asumir, por flexión entre alas, el tesado asimétrico de hasta el 50 % de la carga de cada unidad de pretensado.

4. CONCLUSIONES

La alternativa de la solución bijácena mixta, con doble viga armada, ha permitido con su desarrollo durante los años 80 en Europa ofrecer una solución competitiva frente al cajón clásico mixto en el ámbito de los puentes de carretera, gracias a su economía, rapidez y sencillez en el montaje.

La alternativa del “cajón estricto” desarrolla la solución bijácena francesa, incorporando las ventajas de la doble acción mixta en las zonas de negativos, con fondos de cajón abiertos en positivos o bien mediante un mero cierre formal con prelosas estrictas para hacer la sección transversal interiormente visitable para operaciones de inspección y mantenimiento.

En función de las necesidades de rigidez a torsión de la sección transversal, se pueden plantear celosías trianguladas rígidas, o bien como en este caso permitir un trabajo como doble viga distorsionable con diafragmas en H, tal y como se ha descrito en apartados anteriores.

El viaducto sobre el río Nalón, en la duplicación de la AS-17 en Asturias, descrito en el artículo, representa un buen ejemplo del desarrollo de esta tipología, con un vano central en “cajón estricto” con doble acción mixta, y 110 m. de luz.



Figura 33. Vista interior de los anclajes de pretensado con los tubos de arriostramiento de rigidizadores.



Figura 34. Detalle de anclajes de pretensado, y tubos de arriostramiento.

REFERENCIAS

- [1] Martínez Calzón, J. “Puentes Estructuras Actitudes”. Editorial Turner. Madrid 2006.
- [2] Millanes, F.; Alonso, M. “El Nuevo Puente Mixto de Retamar sobre el Río Guadarrama, en Madrid”. I^{er} Congreso de la Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Sevilla. Noviembre 1999.
- [3] Millanes, F.; Carnerero, A. “Puente Mixto sobre el Río Mijares en la segunda calzada de la Autovía de la Plana, tramo Betxi-Borriol”. III^{er} Congreso ACHE de Puentes y Estructuras. Zaragoza. Noviembre 2005.
- [4] Millanes, F.; Matute, L.; Martínez, D. “Puente sobre el río Sella en Cangas de Onís”. III^{er} Congreso ACHE de Puentes y Estructuras. Zaragoza. Noviembre 2005.
- [5] Matute, L.; Millanes, F.; Antúnez, G. “4 viaductos Mixtos en México”. III^{er} Congreso ACHE de Puentes y Estructuras. Zaragoza. Noviembre 2005.
- [6] Millanes, F.; Pascual, J.; Ortega, M. “Viaducto Arroyo las Piedras. El primer Viaducto Mixto de las Líneas de Alta Velocidad españolas”. *Hormigón y Acero*, nº 243. 1^{er} trimestre de 2007.

[7] Millanes, F. "Estudio del comportamiento en servicio de puentes pretensados de hormigón y estructura mixta". *Hormigón y Acero*, nº 177. 4º trimestre de 1990.

[8] Martínez Calzón, J.; Millanes, F; Fernández Ordóñez J.A.. "Dos ejemplos de grandes puentes mixtos preten-

sados, en Tortosa y Valencia". *Hormigón y Acero*, nº 179. 2º trimestre de 1991.

[9] Millanes, F. "Control de secciones mixtas en Estados Límite Últimos". *Hormigón y Acero*, nº 185. 4º trimestre de 1992.

RELACIÓN DE PARTICIPANTES

Viaducto sobre el río Nalón en la duplicación de la AS-17. Asturias.

Propiedad:	Gobierno del Principado de Asturias.
Dirección de Obra:	D. Ignacio Trapiella Germán (Director de Obra) y D. Javier Requena Guerra. Gobierno del Principado de Asturias. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras. Secretaría General Técnica.
Contratistas:	UTE RIAÑO-SAMA II: FCC Construcción S.A. – Alvargonzález Contratas S.A. (Contratista Principal) Mecánica de Castrillón SA (subcontratista, taller metálico) B.B.R. (subcontratista para el pretensado) Prefabricados Nava SA (subcontratista para prelosas prefabricadas)
Concepción y Proyecto:	IDEAM S.A.
Asistencia técnica a la Dirección de Obra:	Control Ingeniería y Servicios SA (Seinco)